JAXA's
宇宙航空の最新情報マガジン
［ジャクサス］
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構 機関誌
No.068
April 2017

宇宙航空の最新情報マガジン
[ジャクサス] 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 機関誌
No.068
April 2017

CONTENTS

Cover Story
13mφスペースチャンバとユニットメンバーたち
人工衛星やHTV「こうのとり」等の宇宙機は、真空、太陽光による高温・極低温という過酷な宇宙空間で活躍します。それらの環境を地上で模擬する試験設備がスペースチャンバで、写真のものは直径13mの大きさがあり、大型の宇宙機をそのまま搬入し試験することができます。この他JAXAは、電波特性試験設備、打ち上げ時の加速度や大音響を再現することのできる音響試験設備等、多彩な設備を有しています。今号10-11ページのグラビアページをご覧ください。

2016年末、宇宙活動法、リモートセンシング法という、いわゆる宇宙2法が成立したことに伴い、日本でも民間企業が宇宙開発に進出しやすくなりました。世界を見渡すと、米国を中心に民間企業が続々と宇宙事業へ参入しており、また、新興国にあっても宇宙開発や宇宙利用の機運が高まっています。
そうした環境の下、JAXAは国立研究開発法人としての役割を果たし、国民の皆さまのご期待に応えていきたい。そういう思いを胸に、挑戦を続けてまいります。
今号は、「あかつき」の成果、地球観測による課題解決への貢献、宇宙や航空の研究開発に不可欠な基盤技術、そして国際宇宙ステーション（ISS）での実験への取り組みを取り上げました。
ぜひお楽しみください。

★発行責任者
JAXA
（国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構）
広報部長 庄司 義和
★JAXA's編集委員会
委員長 庄司 義和
委員 青山 剛史
寺門 和夫
山根 一眞
山村 一誠
アドバイザー 的川 泰宣
★編集制作
株式会社ファイブ・シーズ
2017年4月1日発行

「あかつき」の見た 金星大気の日変化

2016年4月から金星の定常観測を続ける探査機「あかつき」（PLANET-C）が、金星における日変化（にちへんか）の存在を明らかにしつつあります。「あかつき」搭載の、複数のカメラがもたらした観測結果に基づく日変化の研究内容を、ご説明しましょう。

佐藤 毅彦（さとう たけひこ）
宇宙科学研究所
太陽系科学研究系 教授

金星探査機「あかつき」（PLANET-C） CG

神出鬼没の弓状構造がヒントになる

地球の1年（太陽のまわりを1周＝公転する）は365日ですが、金星の1年は、地球の日数にして225日です。2015年12月7日に金星周回軌道に入った「あかつき」は、2017年2月末までに、ほぼ2金星年の観測を続けてきたことになります。金星の地面は、公転の向きとは逆回りに、243地球日で1回自転します。これは公転よりもゆっくりですから「金星の1日は1年よりも長い」と思うかもしれませんが、公転とは逆方向へ自転する効果により、「金星の1日は、その1年のおよそ半分」となっています。したがって、「あかつき」のこれまでの金星滞在は約4金星日である、と言うこともできます。

「あかつき」が金星の何日分の観測を続けてきたか、これは実はとても重要です。なぜなら、その繰り返し観測を通じて、「金星にも日変化がある（午前と午後では違う）らしい」ことが、かなりの確からしさで分かってきたからです。周回軌道に入って、まず私たちを驚かせた姿である、LIR（長波赤外カメラ）のとらえた巨大な弓状構造が、その良い例です 図1 。この模様は2015年12月に5日間（地球日）見えたあと、2016年1月中旬に科学観測を再開したときは見えなくなっていました。科学チームにはその当時、この巨大な模様がなぜ現れたのかはもちろんですが、なぜ消えてしまったのか、さっぱり分かりませんでした。観測を続けたところその後、2016年の4月と、7月から8月にかけて、再

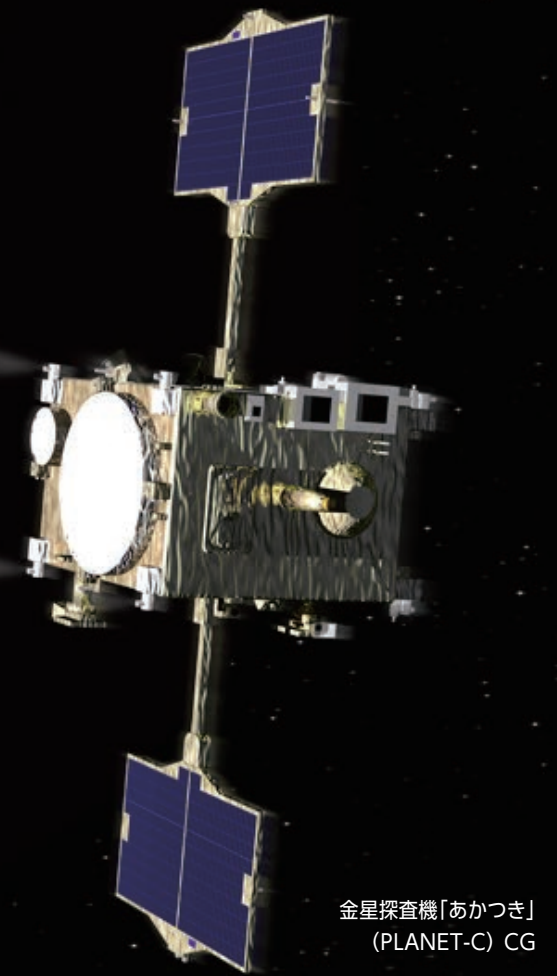
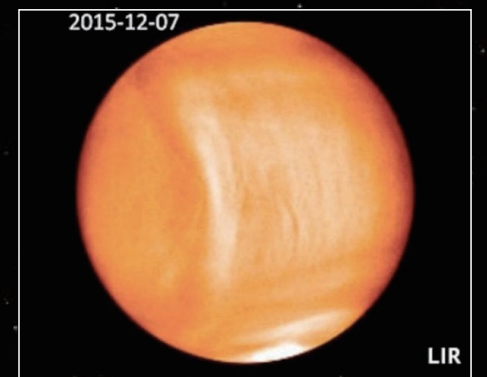



図1 LIRがとらえた巨大な弓状構造（2015年12月7日）

びその巨大な姿が出現したのです。さまざまな条件との関連を調べてみると、アフロディーテ大陸が、金星の午後から日没くらいの時間帯に差しかかると、この弓状構造が発生し成長することが分かりました。つまり「金星の1日」をサイクルとして現れたり消えたりするわけで、それが地球人の感覚では3〜4カ月周期での出現になっていたのです。

金星の地面と雲頂を結ぶ「何か」

「あかつき」の最大の利点は、ほぼ同時に複数のカメラ、それも異なる光の波長を使い金星観測を行うことです。同じ現象、または似た現象を、他のカメラもとらえていました。UVI（紫外イメージャ）は、LIRと同じ日の画像の中に同じ弓状構造を、うっすらとですが明暗模様としてとらえています図2。IR2（2ミクロン・カメラ）は、波長2.02ミクロンの昼面観測を多数行い、やはり地面の地形に由来すると思われる模様をとらえています図3。ただしIR2の場合は、アフロディーテ大陸ではなくベータ地域に由来するものが目立ちます。IR2には、アフロディーテ大陸が夕方付近にある観測好機のデータがまだないことが、その理由かもしれません。IR2が発見したベータ地域由来模様も、金星の午前には見ることはできず、金星の午後に姿を現しています。LIRは雲頂付近の温度の高低を、UVIは紫外線吸収物質の分布を、IR2は雲頂の凹凸をそれぞれ見るカメラです。見るものが違っても同じ地形由来の現象が見られる、つまり、金星では地面に由来した「何か」が、70kmも上空の雲頂にまでさまざまな影響を及ぼしていて、しかもそれが、金星の1日をサイクルとしている（午後から夕方にかけて発達する）ということが分かってきたのです。

地面と雲頂とのこの奇妙な結びつきは、欧州宇宙機関（ESA）の探査機ヴィーナス・エクスプレス（VEX）による観測からも指摘されています。Jean-Loup Bertauxらは、VEX搭載のVMCカメラによる紫外線画像から雲の模様を追跡して多数の風速データを得て、それと地形との関連を調べました。その結果、アフロディーテ大陸の上空ではスーパーローテーション（およそ4地球日で金星を1周する大気の流れ）がいったん減速し、その風下で再び元の速さに加速する、ということを見出したのです。おそらく、LIRやUVIが見た弓状構造が、スーパーローテーションする大気に対して力を及ぼすことによって、こうした風速の変化をもたらしているのでしょう。

【アフロディーテ大陸】
金星のほぼ赤道、東経100°を中心に位置し（地球でいえば、東南アジアからインド洋にかけて）、高さ5km、東西幅8000kmにも及ぶ台地状の地形。

【ベータ地域】
北緯25°、東経280°を中心に位置し（地球でいえば、北米のフロリダ半島付近）、高さ4km程度、東西幅は広くないが南北に1000km以上の広がりをもつ。

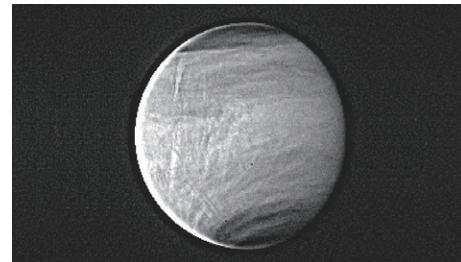
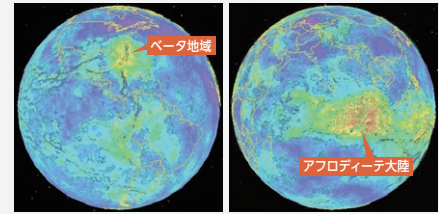



図3 IR2の2.02ミクロン画像にも地形由来の模様（北半球の左側リム近く）が発見された。（2016年5月20日）

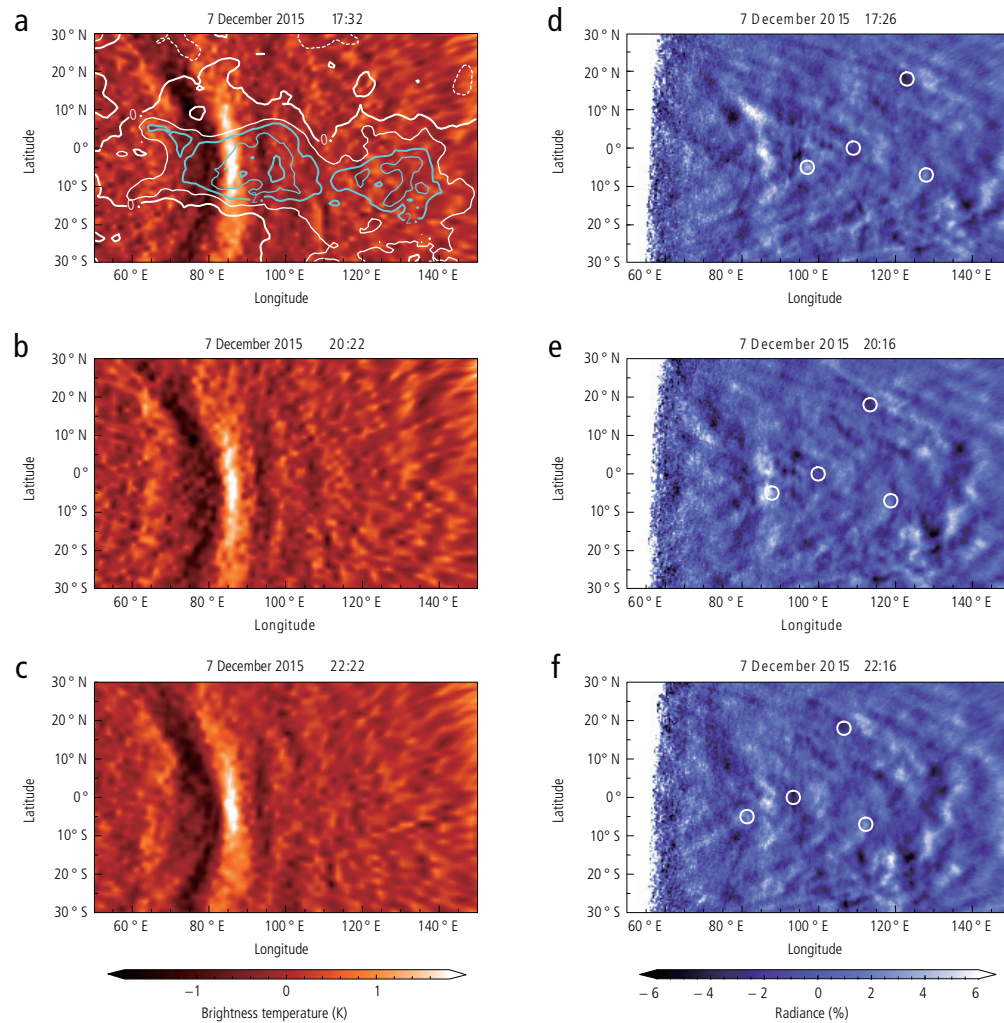



図2 UVI画像を強調処理（右側の青色マップ）したところ、LIRの弓状構造（左側の赤色マップ）に対応する模様が存在することが分かった。左上の赤色マップには、金星地形の等高線が描かれている。中央付近を東西に広がる高地が、アフロディーテ大陸。また、UVI（青色マップ）では、スーパーローテーションにより流される雲の模様も見えており、それを追跡したものが小さな白丸で表示されている。

大気の「波」と予測したシミュレーション

地面と雲頂を結びつけるもの、それは「波」であると私たちは考えて、シミュレーションも行ってみました。赤道地方の金星大気の深いところ（地表からの高度10km）に局地的な気圧のゆらぎを与え、それが大気の波を起こして上空へ伝わる様子をモデル計算したものです。その結果、LIRで発見されたような構造を再現できることが分かりました図4。電波掩蔽観測などによれば、金星の雲層（高度50〜70kmを覆う）の中には対流が活発な層があることが知られています。波はこのような領域を通り抜けることができないのではないかと予想していたのですが、シミュレーション結果は観測事実とよく合うものとなりました。では、これで「弓状構造の成因が分かりました！」と言えるかというと、未解明の問題が残っています。先に述べたようにアフロディーテ大陸の標高は5kmであり、モデル計算で気圧ゆらぎを与えられた高度10kmには届いていません。その5km分の高さは金星大気が高温・高圧で、波がどのような伝わり方をするのか不確かさが大きな領域で、うまくモデルに組み込めないのです。そして、雲頂で秒速100mのスーパーローテーションは下へ行くほど遅くなり、高度5km付近ではとてもゆるやかになりますから、それが大陸にぶつかって大きな気圧ゆらぎを作れるのかどうかも確かではありません。シミュレーションはあくまでシミュレーション、金星の「真の姿」に迫るには、まだまだたくさんの観測と、理論的な研究が必要です。

「金星の1日」をさらに追究する

金星の濃密な大気は保温性が高く、太陽光が地面まで届く昼と暗黒の夜（いずれも地球の100日以上続く）の温度差はほとんどないと考えられてきました。1978年に行われた、NASAのパイオニア・ヴィーナス2号（突入探査機）の夜側着陸プローブの観測もその考えを支持すると思われてきましたが、それはもういちど考え直してみる必要があるかもしれません。「あかつき」ではIR1（1ミクロン・カメラ）が夜面の観測で金星地面からの熱放射を測定することができます図5。日没から間もない地面と、夜明け前の地面、その熱放射を統計的に調べる研究が期待されます。LAC（雷大気光カメラ）は夜側での雷探しを行っています。ひょっとしたら金星の一晩をかけて対流の激しさが変化し、夜半前と夜半後とで雷の発生頻度が変わる様子をとらえられるかもしれません。「あかつき」は、思いがけず明らかになってきた「金星の1日」をより詳しく調べていきます。

ペーパークラフトで金星の素顔を知る

アフロディーテ大陸やベータ地域の位置を立体的に把握できます。

http://www.kids.isas.jaxa.jp/ex/venus/

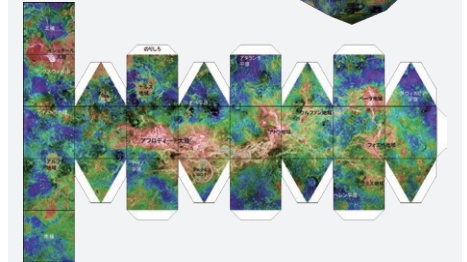
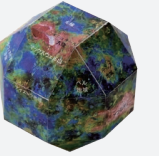
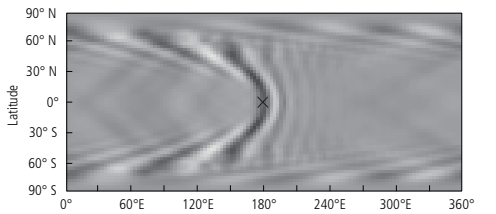



図4 高度10kmに与えた気圧のゆらぎが波として伝わり、高度65kmの温度変化をもたらす様子のシミュレーション

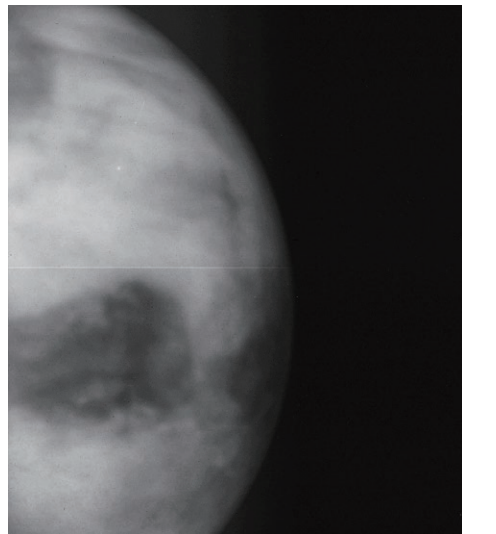



図5 IR1は金星地面からの熱放射をとらえることができる（2016年1月21日 1.01um画像）。明るいところは地面が高温で熱放射を多く発し、暗いところは標高が高く温度が低いため熱放射が弱いことを示している。JAXAは、「あかつき」に搭載の5つのカメラのうち2つ（IR1とIR2）について、科学観測を休止することを決定した。他の3つのカメラは正常に観測を継続している。

地球を見守り、社会に役立つ地球観測衛星たち

第4回 世界が連携し、地球観測による持続可能な社会の実現を目指す

観測情報に基づく意思決定が行われる世界を目指して

～地球観測に関する政府間会合(GEO)を牽引し、科学技術で社会に貢献する日本～

今日、科学技術の発達により大量の情報があふれ、それが人やモノとつながり、いわゆるビッグデータとして蓄積・利用され、私たちの生活に大きな影響を与えつつあります。情報の氾濫の中で、本当に必要で正しい情報(エビデンス)に基づく政策や意思の決定が、ますます重要となっています。そのために、宇宙技術はどのような役割を果たしていくのでしょうか? GEO(地球観測に関する政府間会合)は、「観測情報に基づく意思決定が行われる世界」を掲げて、GEOSS(全球地球観測システム)の構築を進めています。その現場における日本とJAXAの国際貢献の現状や今後の課題について、ジュネーブに事務局を置くGEOのバーバラ・ライアン事務局長、およびJAXAからの派遣専門家を含む3名のJAXA職員へのインタビューで紹介します。

取材・文:下村 憲二(科学ライター)

Interview バーバラ・ライアンGEO事務局長インタビュー

Dr. Barbara J. RYAN(バーバラ・ライアン)

GEO(地球観測に関する政府間会合)事務局長

1952年、米国ニューヨーク州生まれ。米国地質調査所(USGS)、世界気象機関(WMO)宇宙プログラム部長を経て、2012年より現職。

GEOの概要を教えてください。

地球観測に関する政府間会合(ジオ(GEO))は、「全球地球観測システム」(ジオス(GEOSS: Global Earth Observation System of Systems))を構築するため、世界の閣僚級が集まって2005年に設立されました。GEOの将来ビジョンは「観測情報に基づく意思決定が行われる世界の実現」です。そのために、世界中の衛星データと地上観測データを統合した「システム・オブ・システムズ(=多数のシステムを統合した一つのシステム)」を地球規模で作ろうとしています。これは一国では成し遂げられませんので、グローバルに調整された、包括的かつ持続的な地球観測システムを構築しようとしています。日本は16カ国で構成しているGEO執行委員会に創設メンバーとして参加し、運営を支えています。

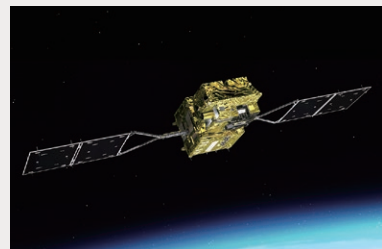
2017年3月現在、GEO は104カ国・106機関から成り、事務局で活躍する約20名のうち、多くの専門家が日本を含む参加各国から派遣されています。事務局では、今後10年間のGEOの方向性を示した「GEO戦略計画2016-2025」を推進するため、スタッフ間の話し合いやGEO参加国・機関との調整、さらに世界各地で開かれる会合に出席するなどして、日々の仕事をこなしています。

「GEO戦略計画2016-2025」の進捗はいかがですか?

GEOは、設立以来取り組んできた最初の10年計画を終え、これで「システム・オブ・システムズ」が一通り構築できたといえるところまできました。そこで、2015年11月、メキシコシティ本会合で新しい「GEO戦略計画2016-2025」を承認したのです。新しい計画では、GEOが取り組むべき分野として災害強靭性、食料安全保障、公衆衛生などの8つの「社会利益分野(SBA)」と、これらに共通する横断的な分野として気候変動が策定されています。その翌年には、より詳細な計画である「ワークプログラム2017-2019」が承認されました。このプログラムの策定や実施状況を監督する「プログラム委員会」では、JAXA宇宙利用統括をはじめとする委員約30名が中心となり、世界中の地球観測コミュニティが進めている活動の進捗確認作業が順調に進められています。

JAXAの観測衛星について評価してください。

インターネットが世界中のネットワークをつないで一つの巨大なシステムとして成り立っているのと同じように、GEOSSは世界中の衛星観測、現場観測、海洋観測データシステムを集めることによって成り立っており、JAXAが運用する観測衛星の高品質なデータも、グローバルなデータシステムであるGEOSSの最も重要な構成要素の一つです。また、JAXA衛星は、NASAとの協力計画である全球降水観測計画/二周波降水レーダ「GPM/DPR」や温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)や、アメリカ海洋大気庁(NOAA)が気象予測のために利用している水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W)などのように、個別の協力相手方にも非常に高く評価されています。

GEOは、「無償での完全公開のデータ共有」を目指し、世界中のデータを誰もが入手可能となるよう、取り組みを続けています。JAXAの質の高い観測データにより、特にアジア・オセアニア地域のデータニーズに応えるため、共に取り組んでいきたいと考えています。

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)

水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W)

今後、JAXAに何を期待しますか?

これからGEO は、重点分野として (1)「持続可能な開発目標(SDGs)」(※P.9 連載コラム「SDGsと宇宙」参照)、(2)気候変動・温室効果ガスの監視、(3)「仙台防災枠組2015-2030」の3つを掲げ、国連機関や企業などのステークホルダーとの連携を強化していきます。

その中で、JAXAには、気候変動や防災の分野で、技術面でのリーダーシップをますます発揮していただけると期待しています。例えば、「GEO戦略計画2016-2025」の起草にも加わった、東京大学の小池俊雄教授が率いる「アフリカ水循環調整イニシアティブ」との連携などが挙げられるでしょう。

最後になりますが、GEO事務局長として、日本政府による資金的貢献、JAXAからの優秀なスタッフの派遣に感謝するとともに、今後もこの関係が継続されるよう望んでいます。2018年11月のGEO本会合の日本開催に向け、協力を深めてゆきたいと思います。

「GEO戦略計画2016-2025」の概要

・理念(ビジョン):
人類の利益のための意思決定や行動が、調整された、包括的かつ持続的な地球観測及び情報に基づいて行われるよう「GEOSS」を構築する。

・社会利益分野 (Societal Benefit Area: SBA) を設定:
地球観測が意思決定を支援する分野として、右記8つの社会利益分野およびこれらの横断分野として気候変動を設定。

・データに関する原則の施行:
地球観測データ等を無償かつ無制限なオープンデータとする「データ共有原則」並びに地球観測データ等の検索可能性、アクセス可能性、可用性、保管及び補正を定めた「データ管理原則」を施行。

・ステークホルダーとの連携:
地球観測が社会の需要に応えるため、GEOの招集力を用い、国連機関・条約、実施コミュニティ、民間セクターなどの主要なステークホルダーと連携する。

生物多様性と生態系の持続可能性	インフラ・交通管理
災害強靭性	公衆衛生監視
エネルギー・鉱物資源管理	持続可能な都市開発
食料安全保障・持続可能な農業	水資源管理
気候変動 (全SBAの横断分野)	

Tripartite Talk JAXA職員インタビュー：GEOとJAXAの現状および未来

落合 治（おちあい おさむ）
GEO事務局（ジュネーブ）駐在
科学技術官
現在、GEO事務局に派遣され専門家として観測システムの構築を担当。

小野田 勝美（おのだ まさみ）
調査国際部 国際課
主任
落合 治の前任として、GEO事務局において観測データ共有に関する業務を担当した。現在はJAXAで、「衛星観測データと社会・政策への影響」をテーマとする国際研究を実施。

原田 まり子（はらだ まりこ）
文部科学省 研究開発局
環境エネルギー課
JAXAで広報やISS計画に携わったのち、現在、文部科学省に出向中。政府の立場からGEOの活動に参画している。

GEOで高い評価を得るJAXAと日本

小野田> GEOの設立理念には日本が深く関わっています。2002年の「持続可能な開発に関する世界首脳会議（WSSD）」で日本政府が掲げた「小泉構想」の中に、「統合地球観測」が提案されています。同じ地球の周りを回る衛星で、同じ地球を観測するのだから、各国バラバラではなく一つの計画を作って分担し、得られた人工衛星データを全部まとめて世界で共有して研究や実業に使おうという考え方で、もともとは日本の宇宙政策の「長期ビジョン」の中の構想です。それが、GEOという新たな国際的組織の設立土台となったのです。日本人はキャッチアップが得意で、システムや発想の提案が苦手とよくいわれますが、そんなことはないという良い例だと思います。

原　田> そのような歴史があるので、GEO執行委員会の場では、日本の発言はとても尊重されています。「日本がそう言ったのなら、やはり変えなければいけない」「日本のガイダンスはハイレベルでの提案だから、戦略性がある」などの反応が多いのです。これは、GEO設立の経緯を含め、日本の諸先輩方が築いてきた信頼や、掲げた目標を達成してきた実現力、確かな技術力がベースにあるからこそですね。

落　合> GEO事務局でも、「JAXAは衛星の技術面もデータの精度も、非常に品質が高い」という声を、欧米や中国のスタッフからよく聞きます。彼らと一緒に仕事をすると、日本人として誇らしく思います。

地球観測の成果を広く社会に還元する

落　合> 例えば災害分野でいうと、日本の衛星データは、日本国内で起きた災害をモニタリングして予測に役立てるのは喫緊の課題ですが、海外からも期待されていますので、国際貢献することもできます。両方のバランスを取りながら、広く社会に役立てられるような方法を考える必要があります。具体的にいうと、GEOでは、日本で起きた地震や火山噴火の観測や研究成果を発信し、世界の科学者と共有するプロジェクトや、世界各地で起きた災害に対し、各国宇宙機関と協力して緊急対応できるような仕組みを作っています。

小野田> 欧州では、GEOに関連した研究開発に資金を投資し、各国にその効果が還ってくるような仕組みを作っています。この仕組みを利用して、宇宙事業への投資の社会還元を目に見えるようにすることができるのです。JAXAでも、衛星データの社会や政策への効果について、文部科学省の研究資金を得て国際プロジェクトを進め、3年間取り組んできたところです。例えばオゾン層の保護や、地球温暖化、災害などの社会問題に、衛星データがどれだけ効果を及ぼしたかを数字で示すような分析をすると、政策決定や経済効果に対して大きな役割を果たしていることが見えてきます。

原　田> 近年、大きな政策決定を行うにあたり、科学的根拠を求める声が世界的に高まっています。GEOはミッションに政策決定の支援を掲げていますが、観測データなど科学的根拠に基づいた政策事例をしっかりと見せていく努力を続けていくことの必要性が認識されてきています。2018年には東京でGEO本会合を開きますので、JAXAと日本政府がGEOで果たしている役割をもっと明らかに示し、さらに世界各国と共有する、よい機会にしたいと考えています。

さらなる社会利益の実現に向けて

落　合> 欧州の地球観測プログラム「コペルニクス」では、2014年からセンチネルと呼ばれる衛星シリーズの運用が始まりました。完全自由オープンデータポリシーの下、米国やオーストラリアともデータを共有する協定を結んでいます。次は膨大なデータの利用、つまり付加価値のある有用な情報へと変換する戦略を推進中です。この状況を考えると、JAXAと日本は、国際的な連携を維持しつつも、自分たちの特長をもっと活かさなければなりません。

小野田> ジュネーブという国際舞台に派遣されたというと、華やかな仕事を想像されるのですが、さまざまな国籍の人と「日本代表の専門家」として仕事をするのは大変なプレッシャーです。私は着任して2週間目で国際ワークショップを任され、参加者からさまざまな要求を突き付けられ、帰りの空港で緊張が解けてボロボロ泣いた経験があります。世界中からGEO事務局に来た専門家は、誰でもそういう思いをして必死にグローバルな地球観測システムの構築に奔走し、一人の人の税金が何倍にもなって各国に返ってくるように願っているのです。JAXAではこれからも、この難題に挑戦し続け、宇宙が本当に人々の役に立つように努力し続けたいと思っています。

原　田> GEOは2005年の設立以来最初の10年間で「システム・オブ・システムズ」の構築をほぼ完了し、新たな10年に突入しています。「どのように地球観測が地球規模課題の解決に役立つのか？」という真価が問われるのが、まさに今なのです。これからGEOが、地球観測データという科学的根拠に基づき、各国内、地域内そしてグローバルな政策決定をどのように支援することができるのか。日本をはじめとしたGEOに参加する各国が議論を重ね、一丸となって活動を実施していきます。

GEO（Group on Earth Observations：地球観測に関する政府間会合）

2002年の「持続可能な開発に関する世界首脳会議」（WSSD）や、2003年の「G8エビアンサミット」の開催など地球観測の重要性が高まる中、2005年2月の「第3回 地球観測サミット」において、全球地球観測システム（Global Earth Observation System of Systems：GEOSS。衛星観測に海洋・地上観測を統合した、包括的な地球観測システム）を推進する国際的な枠組みとして設立された。スイス・ジュネーブに事務局を置く。

地球観測衛星30周年記念シンポジウムを開催

2017年2月13日、東京・御茶ノ水で、地球観測衛星30周年記念シンポジウム「初の地球観測衛星打上げから30年、地球観測の今後」を開催。JAXA奥村理事長の挨拶ののち、国立環境研究所「地球環境の今後を考える」、米国科学アカデミー「地球科学および宇宙利用における10カ年計画」、欧州委員会「欧州地球観測プログラム“コペルニクス”の現状と見通し」などの基調講演に続き、衛星データ利用事例として、災害対策・温室効果ガス観測・数値気象予報・3D地図・人工知能による異常検知など、産・官の各分野における最新の取り組みを紹介しました。

連載コラム：SDGsと宇宙 第1回

SDGs「持続可能な開発目標」って聞いたことがあるでしょうか。貧しい国も、豊かな国も、すべての国の人々が、幸せな生活を追求しながら、地球を守ることに取り組むための人類共通の17の目標です。2015年9月に国連で採択されました。前号の『JAXA's』No.067でご紹介したように、科学や宇宙技術の分野でも、これに貢献するため活発な議論が行われています。真っ先にイメージされるのは、人工衛星による森林の監視、二酸化炭素濃度の観測、災害監視などです。さらに、気温や環境に左右される疾病の発生場所や時期を特定したり、宇宙飛行士の健康管理の研究を高齢化社会に役立てることもできます。国際宇宙ステーション（ISS）「きぼう」日本実験棟からの小型衛星放出は、途上国にも宇宙への参画の機会を広げ、宇宙の起源を探る未知の探求は、あらゆる世代と性別の人々をワクワクさせます。さらに、宇宙は、新しいビジネスや雇用を創出し、新たなイノベーションと経済成長を導きます。『JAXA's』では、これからSDGsのご紹介と併せ、私たちの生活と宇宙の関わりを考えていきたいと思います。

宇宙開発の“縁の下の力持ち”

環境試験で宇宙機の信頼性の向上に取り組む

宇宙機が受ける過酷な環境を模擬

人工衛星などの宇宙機を宇宙に運ぶには、必ずロケットで打ち上げなければなりません。打ち上げに際しては大きな衝撃や振動を受け、ロケットエンジンに起因する轟音にも曝されます。しかも、宇宙空間は真空で、地上のように大気による減衰がない太陽光を浴びるため、太陽に面した部分が高温になる一方、陰のところは極低温になってしまいます。

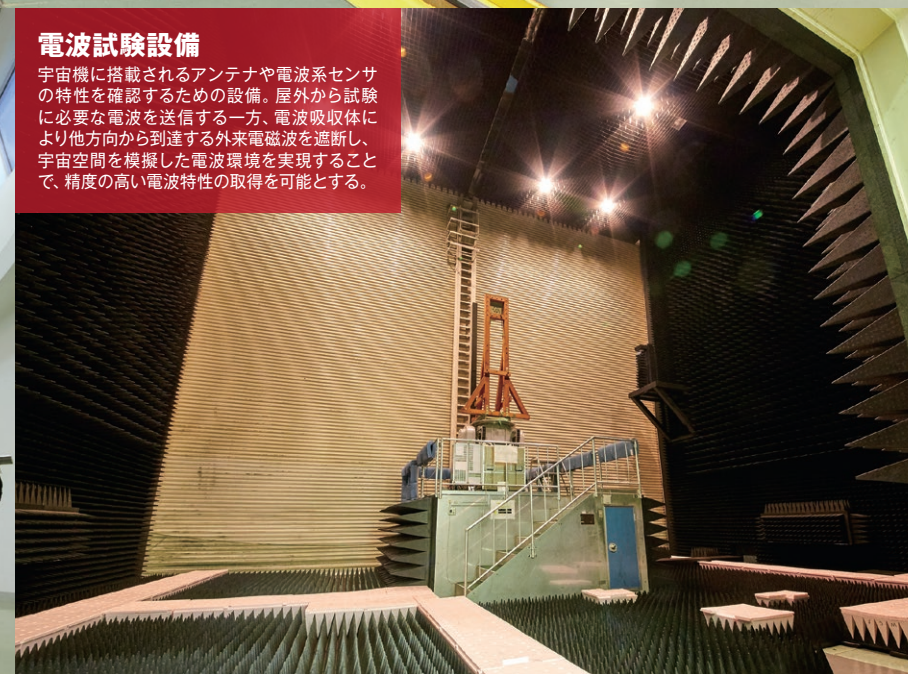
これだけ過酷な環境に曝されては、精密機械の塊といえる宇宙機には、常に故障のリスクが付きまといます。そこで、宇宙機が曝される過酷な環境を地上で模擬して、故障の原因を事前に洗い出す環境試験を実施しています。

近年、日本でも民間企業による宇宙機開発が広がり始め、衛星を打ち上げるニーズが高まってきています。そのような機会にもJAXAが培ってきた環境試験技術を広く活用していただくことで、日本の宇宙開発の拡大に貢献していきたいと考えています。

JAXAの環境試験設備は、基礎的な研究や民生化を見据えた技術開発にも利用されています。これまでにも第一宇宙技術部門と共同研究で、「機械環境緩和装置」を開発しました。この技術を観測衛星に組み込めば、衛星内の他の装置が振動しても、観測機器に伝わる振動を従来よりも簡便に抑えられ、安定した観測が可能になると考えられています。この技術は民生利用でも注目され、洗濯機や冷蔵庫などの生活騒音·振動の低減や、トラックや救急車内部の振動低減にも貢献できると期待されています。

13mφスペースチャンバ
直径13mの空間に宇宙の環境を再現する「ミニ宇宙」。真空ポンプにより真空環境を作り出す。極寒の宇宙空間を再現するため、壁面に液体窒素を流しマイナス170℃以下まで温度を下げるのに加えて、軌道上の太陽光を模擬したキセノンランプの光を照射する。

旋回腕型加速度試験設備
ロケットで打ち上げる際に宇宙機にかかる大きな加速度を再現する。供試体を「腕」の先に固定して、「腕」を旋回させることで、最大55.7Gまでの均一な加速度負荷を作り出せる。大きな加速度がかかる航空機搭載機器の試験にも利用される。

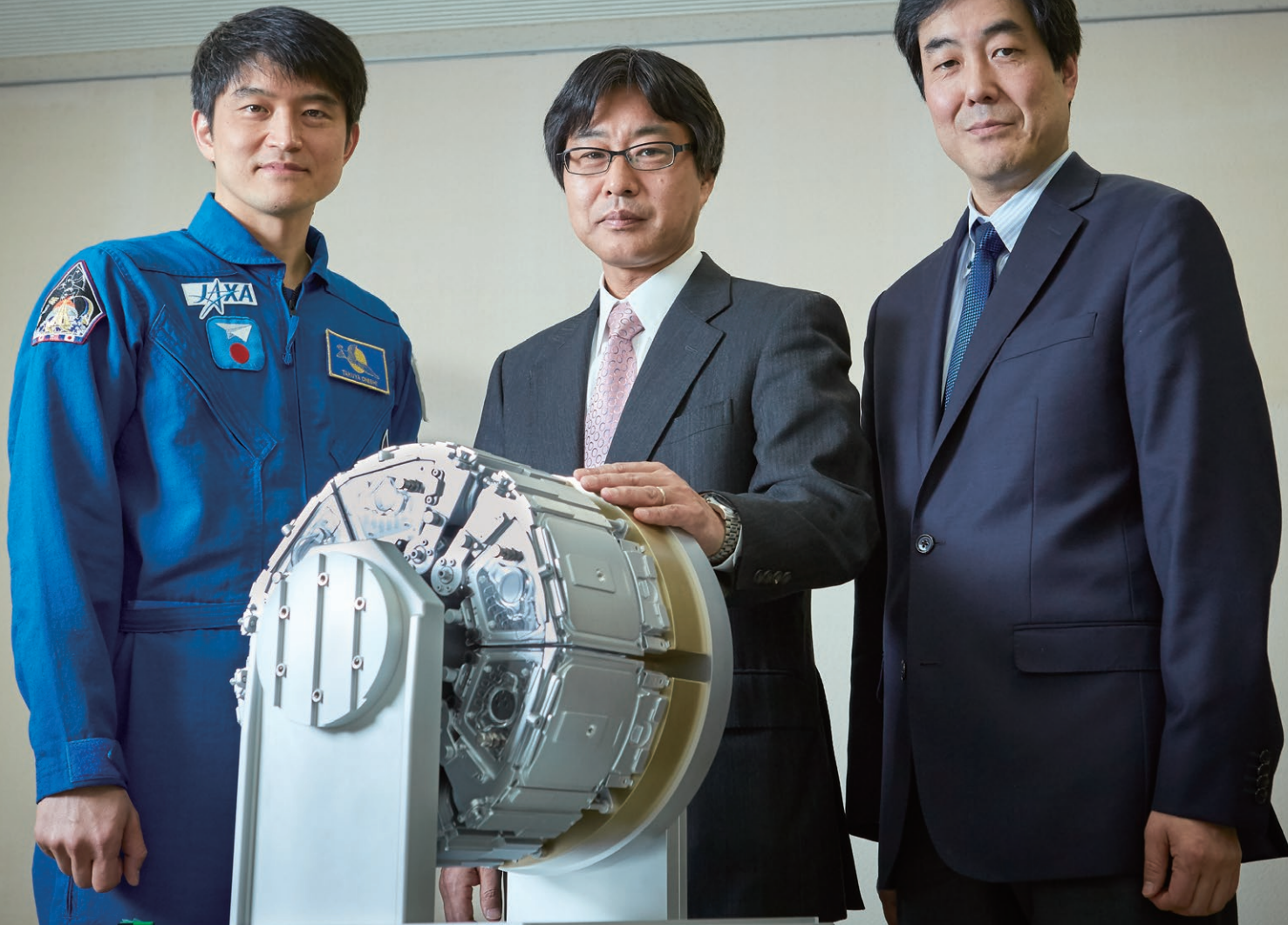
電波試験設備
宇宙機に搭載されるアンテナや電波系センサの特性を確認するための設備。屋外から試験に必要な電波を送信する一方、電波吸収体により他方向から到達する外来電磁波を遮断し、宇宙空間を模擬した電波環境を実現することで、精度の高い電波特性の取得を可能とする。

1600m³音響試験設備
ロケットによる打ち上げ時には、宇宙機は振動や加速度のほか大音響を受けるため、実際に打ち上げ時を模擬した音響を与えて宇宙機を試験する。この設備は、圧縮した窒素ガスと音響変換器により、世界の主要なロケットの打ち上げ音響環境を模擬できる。

中尾 正博（なかお まさひろ）
環境試験技術ユニット
ユニット長

試験供用制度のお問い合わせ先

宇宙航空研究開発機構（JAXA）環境試験技術ユニット

 http://shiken.jaxa.jp/f_guide.htm

 shiken-kyouyou@jaxa.jp

抗加齢医療の実現を後押し!

大西卓哉宇宙飛行士がISSで行った小動物飼育ミッション

2016年7〜10月、国際宇宙ステーション(ISS)に長期滞在した大西卓哉宇宙飛行士。115日間の滞在中に多くの宇宙実験、研究に取り組んだが、その一つにマウスを飼育する小動物飼育ミッションがある。これまで宇宙に長期滞在した宇宙飛行士に見られる加齢に似た現象を明らかにするために実施されたこのミッションでいかなる成果が得られたのだろうか?　マウスの飼育を担当した大西宇宙飛行士、ミッションを推進したJAXA有人宇宙技術部門の白川正輝、そして研究を主導した筑波大学の高橋智教授にその内容を聞いた。

取材・文:斎藤 勝司(科学ライター)

おおにし たくや
大西 卓哉
有人宇宙技術部門
宇宙飛行士運用技術ユニット
宇宙飛行士グループ 宇宙飛行士

たかはし さとる
高橋 智
筑波大学
医学医療系および
生命科学動物資源センター 教授

しらかわ まさき
白川 正輝
有人宇宙技術部門
きぼう利用センター
技術領域主幹

宇宙飛行士に起こっていた加齢に似た現象をマウスを対象に詳しく調べる

小動物飼育ミッションは、どのような経緯で実施されたのでしょうか?

白川——過去、宇宙に長期滞在した飛行士の体を調べた結果、骨や筋肉の減少といった高齢者に見られる現象が地上の数十倍の速さで進むことが明らかになりました。そのため、宇宙飛行士の体に起こる変化を調べれば、宇宙飛行士の健康管理はもちろん、地上に暮らす私たちの加齢に伴う現象を抑えるのに役立てられるのではないかと考えられています。そこで地上での医療研究分野で症例の多いマウスを用いた実験で検証することとし、小動物飼育装置(Mouse Habitat Unit: MHU)を開発して、これを用いた研究を公募しました 写真1 。

高橋——公募に手を挙げた研究グループの一つが私たちで、今回の飼育ミッションに関わりました。ISSでのマウスの飼育は、米国やロシアなどが取り組んできましたが、いずれも複数個体を同じ空間で飼育する"群飼い"でした。これでは遺伝子が揃ったモデルマウスを飼育しても、先に大きくなった個体がエサを独占し個体差が生じるなど、得られるデータにばらつきが生じていました。その点、MHUは1匹ずつの"個飼い"ができるので、個体差の小さいデータが得られるのではないかと期待していました。

飼育ミッションの具体的な内容を説明してください。

高橋——宇宙で生じる加齢に似た現象の解明を念頭に置きつつも、日本にとってはISSでマウスを飼育する最初のミッションでしたから、まずは確実にマウスを飼育しようという考えから、骨が減少しやすい骨粗鬆症を再現できるような疾患モデルマウスは使わずに、生命科学の研究で広く使われている一般的なモデルマウスを選びました。MHUは飼育ケージを回転させて人工的に重力を作り出せますから、ISSに運んだ12匹のうち6匹を回転するケージの1Gの人工重力の下で、残りの6匹を回転させないケージの微小重力下で飼育しました 図1 。

地上で飼育したマウスとの比較ではいけなかったのでしょうか?

高橋——ISSに運ぶと、打ち上げ時や帰還時の衝撃をはじめ、マウスはさまざまなストレスを受けます。もしISSの微小重力下で飼育したマウスと地上の1G環境で飼育したマウスに何らかの差が生じても、重力の違いによるものなのか、ISSに運ぶ際のストレスの影響によるものなのかが分からなくなってしまいます。ですから、比較対照するマウスもISSに運んで人工重力下で飼育して、輸送時のストレスの影響を避けるようにしました。

大西宇宙飛行士の丁寧な世話のおかげで全12匹が元気に地球に生還

生き物ですから飼育次第で弱ることもあり得ます。その点で、マウスの世話をする大西飛行士の責任は重大でしたね。

大西——はい、重大でした(笑)。私は2016年7月7日にソユーズ宇宙船でISSに向かい、9日にISSに到着したのですが、マウスたちは7月18日に打ち

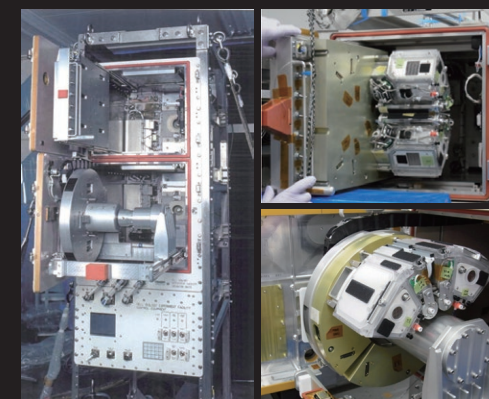
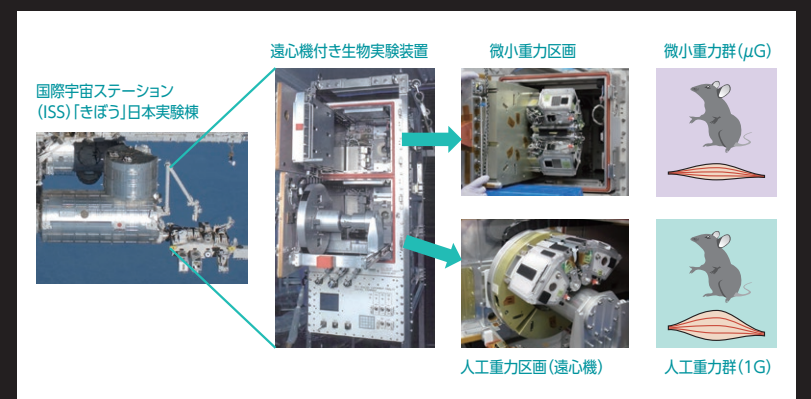
写真1 小動物飼育装置(MHU)

2015年に油井亀美也宇宙飛行士が組み立て、検証作業が行われた小動物飼育装置(MHU)。大西宇宙飛行士の長期滞在で、初めて実際にマウスが飼育された。ISSに運ばれた12匹すべてを生還させた一方で、さまざまな技術的な課題も識別でき、今後の改良に活かされる。

図1 小動物飼育ミッション

飼育ケージを回転させて人工重力を作れるMHUの特徴を活かし、ISSに運んだ12匹のマウスを微小重力群(0G)と人工重力群(1G)に分けて飼育することで、宇宙空間で生活した際の影響が調べられている。MHUの回転数を変えれば、月を想定した地球の6分の1の、火星を想定した地球の3分の1の重力を作り出して、月や火星に滞在した際の影響を調べることも可能だ。

上げられたドラゴン宇宙船でISSに届けられました。12匹をそれぞれの飼育ケージに入れるなど準備をして、7月21日から飼育を開始すると、それからはまさに飼育係でした。飼育ケージを掃除したり、エサや水を与えたり……。

大西宇宙飛行士から見て、MHUをどのように評価しますか?

大西——MHUはよく考えられたシステムで、例えば、マウスの糞や食べかすは、風を送って集められるようになっています。ただ、宇宙では地上の想定どおりにはいかないもので、微小重力下では糞や食べかすが浮いてしまい、風ではうまく集められず、マウスに飲み水を供給するためのノズルを詰まらせてしまうことがありました。飼育ケージの清掃には気を遣いました。これらの気付いたことはすべて報告して、次回のミッションで使用されるMHUの改良に活かしてもらっています。

高橋——マウスはとてもきれい好きな動物でして、飼育ケージの清掃を怠るとすぐに弱ってしまいます。打ち上げや帰還時に大きな振動や加重の力を受けることを考慮すると、12匹すべてを生きて地球に戻せるかどうか心配だったのですが、1匹たりとも欠けることなく元気に地球に戻ってきました。丁寧に世話をしてくれた大西宇宙飛行士のおかげだと思います。

大西——ISSに滞在中の宇宙飛行士は地上の管制官から送られてくる手順書に従って仕事をします。手順書の内容は数日前には決まるので、飛行士によって違いますが、私はそれを事前に予習するタイプで、前日のうちに翌日の作業内容をしっかり把握してから寝るようにしていました。ただ、マウスの飼育に関しては、生き物が相手ですから、私が寝ている間に手順が変更され、朝起きたら前日とは異なる作業指示が出ていて驚かされることがよくありました。

丁寧に飼育しても、マウスにとっては経験したことのない微小重力での生活になります。微小重力に適応できないという心配はなかったのですか?

高橋——微小重力下でどのように眠るのかという関心はありました。飼育ケージには小型カメラが取り付けてあってマウスの行動を観察したところ、ぷかぷか浮いて眠っていました。中には尻尾で体を固定するものもいて、思いの外、速やかに微小重力環境に適応していたようですね 写真2。

微小重力、人工重力では働く遺伝子が違っていた

地球に生還したマウスからどんなことが明らかになっているのですか?

高橋——まだ解析中で、すべてを調べ尽くしたわけではありませんが、すでに興味深い成果が得られています。まず骨量ですが、微小重力下で飼育したマウスは大幅に減少していることが明らかになりました。通常、大腿骨の内部には網目状の海綿骨があって、家の梁のような役目を果たして、骨の強度を維持しているのですが、微小重力下で飼育したマウスの海綿骨は劇的に減少していました 図2。

以前から、宇宙飛行士で報告されていた骨量の減少がマウスでも確認されたのですね?

高橋——ここまではっきりと短期間で骨量が減少したのには驚かされました。一方、筋肉の減少については、ふくらはぎにあるヒラメ筋の量を比較すると人工重力下で飼育したマウスに比べて微小重力下で飼育したマウスは約10%減少していることも分かりました。人工重力群と微小重力群で比べたところ、約4万の遺伝子のうち300について、遺伝子の発現量に違いが生じていることも明らかになりました 図3。

白川——骨や筋肉の減少の鍵を握る遺伝子が明らかになってくれば、その遺伝情報に従って疾患の標的や治療薬の候補の絞り込みなどに役立つと考えられます。「きぼう」では創薬につながる高品質なタンパク質の結晶生成実験も実施しているので、将来、マウスによる疾患に関与する標的の探求から、それに作用する薬剤の開発に至るまで、「きぼう」が貢献することが期待されます。

高橋——骨や筋肉の減少以外では、マウスから得られた精子に興味深い違いがあるかもしれないことも明らかになりつつあります。

大西——微小重力群と人工重力群で精子に違いがあるならば、宇宙時代のマウスが誕生する可能性があるのではないですか?!

高橋——はい、その可能性が示唆されているのだと考えています。地球に生還したマウスから得られた精子はマウスがISSにいた頃につくられていますから、今後、宇宙でマウスを繁殖させるといった、新たな研究を提案する上で重要な知見を私たちにもたらしてくれると期待しています。

白川——今後もマウスの飼育ミッションを行う予定で、腸内細菌の研究などが計画されています。他国の宇宙機関からもMHUは注目を集めていますから、生命科学への貢献とともに、MHUでのマウス飼育で、ISSでの日本のプレゼンスをさらに高めていきたいですね。

写真2 微小重力に適応したマウス

◆宇宙での1G(人工重力環境)

◆0G(微小重力環境)

宇宙での飼育開始5日目(2016年7月25日)

微小重力に適応できるか心配されたが、浮きながら眠る様子が観察されている。生還後にマウスから得られた精子で、次の世代の仔マウスが誕生しており、地球外で生物が受けた影響が遺伝するかどうかが調べられている。

図3 遺伝子の発現量の違い

人工重力 微小重力

図は、微小重力群と人工重力群のマウスについて、筋肉の遺伝子発現量を色に割り当てて表示したもの(群間で差があった遺伝子のみ表示)。各群で3個体分を並べているが、群内では同色傾向にありデータのばらつきが小さいことから、今後高精度な重力影響の解析が可能なこと、また、35日間の飼育でも、重力の違いのみによって遺伝子発現の差が明確に生じることを初めて示したデータ。

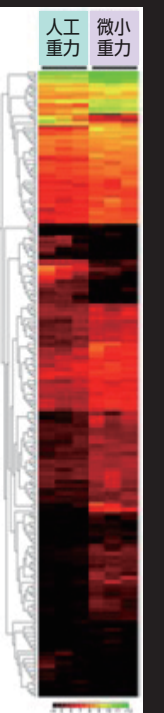
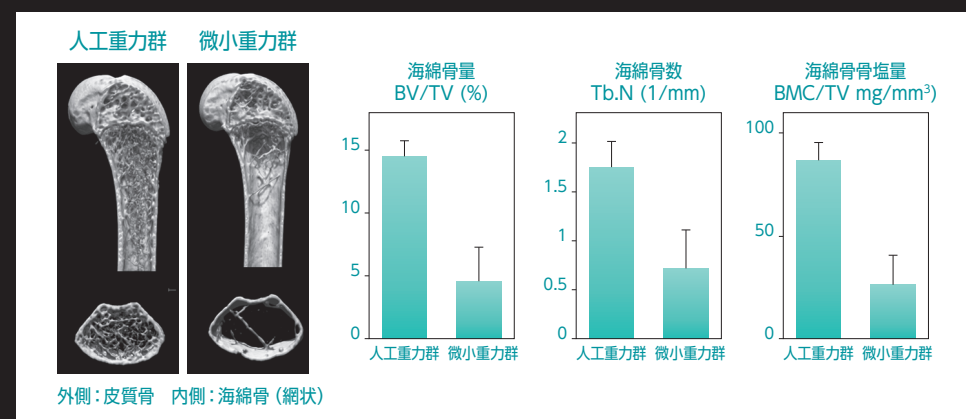



図2 骨組織の変化

骨量の減少は、これまでにも宇宙飛行士の体で確かめられていたが、ISSより生還したマウスの骨を調べた結果、微小重力群のマウスでは大腿骨の強度を維持する海綿骨が劇的に減少していることが明らかになった。骨粗鬆症になりやすい疾患モデルマウスでないにもかかわらず、これほど劇的に骨量が減少していたことは、高橋教授にとっても驚くべき結果だった。

大西卓哉宇宙飛行士

国際宇宙ステーション(ISS)長期滞在ミッション報告会を開催

「きぼう」利用で未来を拓く115日間の軌跡

2017年2月21日、東京・水道橋で大西卓哉宇宙飛行士の長期滞在ミッション報告会を開催し、1700人近い方々に参加いただきました。

オープニングに続いて、会場後方から登場した大西宇宙飛行士は、観客とハイタッチしながらフロア中央の通路を通って登壇。第1部でISSでの自身の活動を紹介したのち、第2部では大西宇宙飛行士を地上から支えたフライトディレクタの中野優理香も加わって、ミッション成功の秘訣などについて語り合いました。第3部では「きぼう」の意義や「きぼう」における研究成果の価値がもたらす世界についてをテーマに、筑波大学の高橋教授らを交えたトークが展開されました。

参加者からは「ミッション内容が詳しく分かった」「大西さんと中野さんのコミュニケーションが目に浮かぶようで面白い」などの声が上がり、報告会は盛況のうちに幕を閉じました。

ステージでインタビューを受ける大西宇宙飛行士と中野FD

日本最大の風洞群──航空宇宙産業を支え続ける大黒柱

風洞設備と計測手法を進化させ、航空宇宙技術を革新する

取材・文:下村 憲二(科学ライター)

風洞試験は航空機やロケットの開発に不可欠な基礎技術。JAXA調布航空宇宙センターは、低速から音速を超える極超音速までの実験条件を模擬できる風洞のラインナップを揃え、日本の航空宇宙技術の発展に貢献している。風洞を活用した研究開発の現状を知るべく、第一線で活躍する研究開発員に訊いた。

航空技術部門
次世代航空イノベーションハブ
併)空力技術研究ユニット
研究開発員

こいけ しゅんすけ
小池 俊輔

JAXA調布航空宇宙センターが保有する風洞群(主なもの)

風洞設備	完成年度
0.6m × 0.6m 遷音速フラッタ風洞	1958
2m × 2m 遷音速風洞	1960
1m × 1m 超音速風洞	1961
6.5m × 5.5m 低速風洞	1965
0.5m / 1.27m 極超音速風洞	1965/1994
0.44m 極超音速衝撃風洞	1967/1994
2m × 2m 低速風洞	1971
0.8m × 0.45m 高レイノルズ数遷音速風洞	1979
0.65m × 0.55m 小型低乱風洞	1988
750kW アーク加熱風洞	1993
0.6m × 0.6m 磁力支持風洞	1999
110kW 誘導プラズマ加熱風洞	2002

日本の航空機・宇宙機開発を支える風洞群

「YS-11・MRJなどの航空機からH-ⅡA・H-ⅡBといったロケットに至るまで、日本で開発された大部分の航空宇宙機が、ここの風洞設備を利用して生まれました」JAXA調布航空宇宙センターにある風洞設備の前で、主に流速計測手法の研究に携わる小池俊輔さんが語る。

JAXA風洞群の歴史は古い。1958年のフラッタ風洞に始まり、プロペラ機からジェット機、超音速機、宇宙機まで幅広い速度域の試験に対応できるよう増設を続け、現在、低速から音速を超える極超音速までの実験条件を模擬できる風洞のラインナップを揃える。風洞が果たす基本的な機能を、小池さんが説明してくれた。「飛行中の航空機には、揚力や抗力などいろいろな力がはたらきます。人工的に風を起こし、固定した模型に加わる空気の力や流れを計測して、設計どおりの性能を発揮できるかを調べるのが風洞試験です。機体構造を維持できるか、安定して飛行するか、方向舵は意図した方向に機体を向けられるか、などをチェックしていきます」

JAXA風洞群の特長

JAXA風洞群の特長として小池さんは、「(1)多様な速度域に対応、(2)高度な試験・計測手法、(3)経験の豊富なスタッフ、(4)長年にわたり蓄積したデータ評価技術」を挙げる。これらの強みを持つ風洞設備が揃うのは日本ではJAXAだけである。航空宇宙分野を中心に自動車、鉄道など幅広い産業のユーザーがひっきりなしに利用している。「多くの試験対象と、その計測手法についてのノウハウ・データをパッケージ化しています。目指すは、最適なオーダメイドを実現する風洞試験です」と小池さんが力説するとおり、あらゆるユーザーのさまざまな試験条件に沿って柔軟に対応するコーディネート力も、大きな特長といえる。

研究テーマは計測法とデバイス開発

小池さんが所属するグループで風洞群を駆使して取り組む研究テーマは、計測法とデバイス開発の2つ。まず、計測法として粒子画像流速計測法(Particle Image Velocimetry:PIV)がある。PIVは1980年代に登場した、気流の速さを測る手法。気流中にトレーサーと呼ぶ小さな粒子を混ぜ、そこにレーザー光を当てて粒子の移動量をカメラで撮影。画像に映った粒子のパターンを追いかけると気流の向きや速さが分かるので、模型の周囲で起きている気流の状態を詳細にとらえられる❶❷。小池さんは、JAXAによるPIV研究の意義を「航空宇宙機の開発試験では、大型の風洞が使われます。流れの速度も低速から音速に近い高速まで必要になります。このような特殊条件で高精度な計測を行うためには自分たちで技術を改良する必要があります」と教えてくれた。

次いで、デバイス開発ではボルテックス・ジェネレータ(Vortex Generator: VG)を扱う。航空機が飛行中に突風を受けると、主翼の上部で衝撃波が強くなり気流が大規模に剥離(逆流)することがある。こうなると機体に激しい振動が起き、航空機は危険な状況に陥る。それを抑えるために主翼に取り付ける小さな装置がVGだ。小さな翼片でわざと渦を発生させて気流の剥離を防ぎ、揚力を保つ働きをする❸。VGはすでに実用化されている技術だが、衝撃波の発生する音速近傍での効果の原理には不明な点も多い。そのため、現行の航空機でさえも、試行錯誤的に設計を行っていることも珍しくない。

小池さんは、「効率的にVGを利用するために高精度な風洞試験を重ねました。二次元翼から三次元翼と基礎的な研究を丁寧に進め、VGの効果について、その原理を世界的にも深いレベルで理解するに至りました。その結果として、独自のVG設計指針を作り上げることに成功しました」

ケンブリッジ留学、そして革新的技術の開発へ

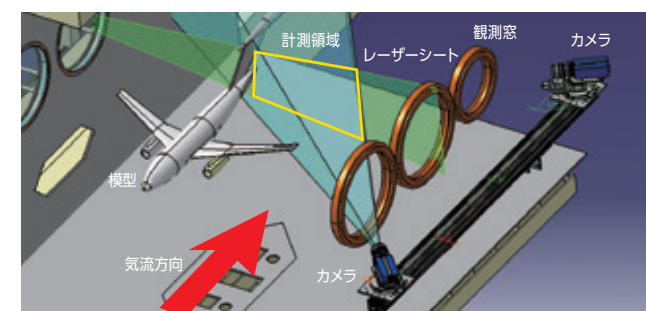
今回の取材は、小池さんが海外留学に旅立つ前日に行った。1年間に及ぶ留学先は、イギリス・ケンブリッジ大学。留学のいきさつについて「学生の頃、同大学の先生のVGに関する講演会に参加したのを覚えていたので、JAXAの留学制度を活用しました。研究テーマは『衝撃波/境界層干渉』といって、飛行機の表面近くを流れる遅い流れと、強い圧力の波が干渉する現象です。特に、剥離を抑えることが難しい主翼と胴体などの接合部を研究対象にします。PIVについても、研究設備を使えるそうなので、より深く追究していきます」と意気込みを語った。

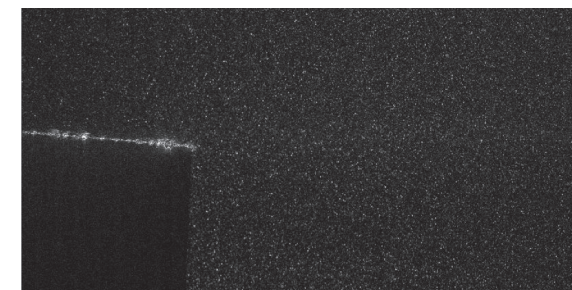
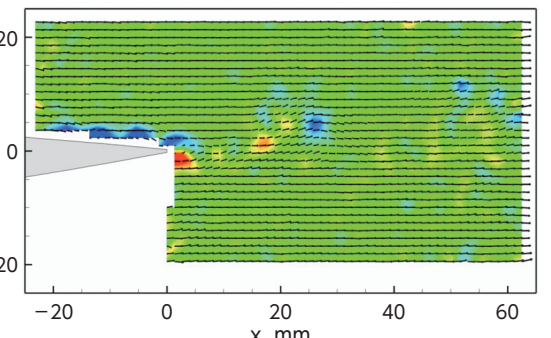
0.8m×0.45m高レイノルズ数遷音速風洞

留学も含め、今後の研究がもたらすであろう成果について、「近年、時間分解能を備えた詳細な計測や解析ができるようになってきました。気流は常に時間方向に変動していますが、この変動が機体の有害な振動につながります。研究対象の現象もこれに関連したものです。時間分解能をもつ情報を基に、新しい空力デバイスをつくれる可能性も出てきました。VGは、航空事故の原因のひとつである乱気流に航空機が巻き込まれても、飛行の安全性を失わないために考案されました。新しい計測・解析手法で、航空機が今よりもさらに安全に運航できるような、革新的技術を開発していきたい」とのビジョンを描く。

続けて、その実現に必要なものは何か、を問うと「継続すること。PIVは学生時代を含め、すでに15年ほど携わっています。長い年月を費やしてはじめて、航空機やロケットの設計に対して有意義な情報を提供できるのです。継続するには成果を出し続けることも重要だと思っています」と力強く答えてくれた。

世界の航空旅客の輸送量は年々、伸び続け、2035年には2015年比で約2.5倍※になると予測される。この航空機需要の拡大を受けて、より安全・安心で、もっと快適なフライトの実現を目指し、JAXA風洞群と小池さんたち研究開発スタッフが担う役割は、重要度を着実に増しつつある。

※一般財団法人 日本航空機開発協会「民間航空機に関する市場予測2016-2035」より
http://www.jadc.jp/files/topics/109_ext_01_0.pdf

❶粒子画像流速計測法(PIV)の概念図
気体中に放出されたトレーサーが、レーザーに接触して発光する様子をカメラで撮影

❸二次元翼の模型の上部に取り付けたVG試験パーツ(左の白い突起物)

❷二次元翼後縁近傍のPIVのカメラで撮影したトレーサー粒子の画像(右に解析図)

二次元翼後縁から放出される渦の計測結果(左の粒子画像を解析して求めた結果)

研究開発の現場から

幅広い温度で正確に計測できる、ツイン方式QCMセンサを共同開発

人工衛星や探査機といった宇宙機では、宇宙で活動するが故にさまざまな問題が発生することがある。宇宙機をつくる材料からガスが発生し、搭載装置を汚すコンタミネーションもその一つ。より正確にコンタミネーションを計測する新たなQCMセンサを、JAXAと日本電波工業株式会社（以下「NDK」）が共同で開発した。

取材・文：荒舩 良孝（科学ライター）

日本電波工業株式会社のスタッフと共に：
左から、狭山事業所 第六技術部部長 若松 俊一、
千歳テクニカルセンター 第二グループ課長 塩原 毅、
同グループ係長 茎田 啓行、同グループ 柳澤 祐希、
本社 第一営業部 第一グループ課長 時田 一彦、
JAXA 宮崎 英治、
本社 第四営業部 第二グループ課長 星野 和彦、
狭山事業所 第六技術部 第四課課長 石川 貴之

QCMセンサ

■数値化が難しいガスの発生

地上では、大気によって常に1気圧の圧力を受けている。しかし、宇宙空間は真空に近い状態であるため気圧がかからず、宇宙機の材料となっているプラスチックや接着剤などからガスが放出されることがよくある。「このガスが宇宙機搭載の装置に付着して、汚してしまうような現象をコンタミネーションと呼んでいます」と主任の宮崎英治さんは説明する。

宇宙機は、太陽電池・カメラ・望遠鏡・センサなど、光を利用する機器をたくさん搭載する。太陽電池のパネルを汚してしまうと発電効率が落ちて、宇宙機の活動そのものに支障が出るほか、観測機器が汚れれば観測データの品質が落ちてしまう。

コンタミネーション自体は、宇宙開発が始まった当初から知られていた。しかし、根本的な解決法はずっと見つからないまま現在に至っている。コンタミネーションはとてもシンプルな現象に見えるが、それが発生するまでに、材料の特性、ガスの発生のしかた、発生したガスが宇宙機でどのように移動するのか、移動した先でのガスのとどまり方など、いくつもの要素が絡みあっている。

「例えば、材料や温度を少し変えただけでコンタミネーションは劇的に変化します。これらの要素をしっかりと切り分けていくのも難しいことです。しかも、ガスがどのくらい発生して、それが宇宙機の機器にどのような影響を及ぼすのか、をしっかりと数値化しようとすると、とたんに扱いが難しくなるのです」と宮崎さんは語る。

■高い壁となった厳しい測定条件

コンタミネーションの一番の予防策は、真空状態に置いてもガスを出しにくい材料を選んで使うことだ。その基準となる規格も存在しているが、20年以上前に決められた古いもので、その規格自体に科学的な根拠が乏しい。その状況を改善しようと、最近は、材料を真空中に置いたときに、どのようにガスが放出されるのかを時間の経過とともに長期的に追跡する試験を行っている。

この長期的なガスの放出を調べるのに使われているのが、QCM（Quartz Crystal Microbalance）センサ。QCMセンサは、時計などに使われる水晶振動子を利用したセンサで、コンタミネーションの研究にはなくてはならないものだが、従来のQCMセンサは測定があまり安定せず、扱いづらいものだった。そこでJAXAでは、より使いやすいQCMセンサをつくるために、多くの水晶デバイスを手がけるNDKと共同研究開発を始めた。

コンタミネーション計測用のQCMセンサの一番の難関は、使用する温度範囲の広さ。真空状態に近い宇宙では太陽光が当たる場所と当たらない場所で温度が大きく変化する。そのため、コンタミネーションの試験も、マイナス190℃からプラス125℃までのあらゆる温度で行う必要がある。

水晶振動子は温度の変化によって振動数が敏感に変化する。NDK狭山事業所 第六技術部長の若松俊一さんは、「300℃に近い幅広い温度範囲で、水晶振動子を安定的に発振させられるかが、最初の課題の一つでした」と振り返る。

QCMセンサは、二つの電極を使って計測する。片方の電極にガス成分を付着させ、もう片方の電極には付着させないつくりになっている。二つの電極の振動数の違いを比べることで、付着したガスの量を計測し、放出されたガスの量を算出する。これまでのQCMセンサは、二つの水晶振動子を使って二つの電極をつくっていた。つまり、別々の水晶振動子の振動の違いを比べていたのだ。

一つ一つの水晶振動子には微妙な違いがあり、センサ中の水晶振動子自体の温度にも少し差ができる。その微妙な違いそのものが測定誤差を生みだす要因になり、測定温度を幅広く変えていく過程では、二つの水晶振動子の変化が同一でなければ大きな誤差につながってくる。

■一つの水晶に二つの電極をつくる

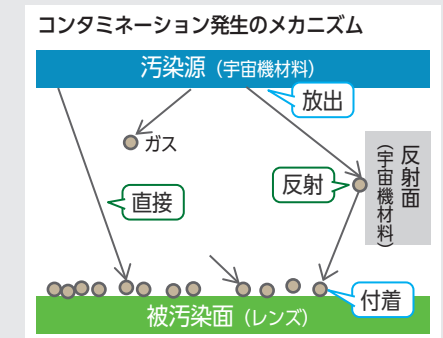
そこで、共同開発では、一つの水晶振動子に二つの電極をつくるツイン方式を採用した。二つの電極は、同一の水晶振動子の上にあるので、電極間での温度差や感度の誤差がとても小さくなり、精密な計測ができる。「このツイン方式は味覚計測や医療診断用のバイオセンサをつくるために開発しました。温度範囲の広いコンタミネーション計測用のセンサに同技術が使えるのではないかと提案しました」とNDK千歳テクニカルセンター 第二グループ 課長の塩原 毅さんは語る。

NDKは、水晶デバイスのエキスパートで、水晶を扱うことに長けている。一方、JAXAは低温や真空環境で使用する機器の開発における経験やノウハウを蓄積していたので、宮崎さんに加えて電子回路の専門家である研究開発員の土屋佑太さんのサポートもあり、2年で新型のQCMセンサを開発した。「NDKの皆さんと、継続的にディスカッションしながら研究開発を進められて、とても充実した時間を過ごせました。開発の立ち上げから製品化まで関わり、いい経験になりました」（土屋さん）。

コンタミネーションの計測の肝となる、広い温度範囲と高い温度測定精度を実現したこのセンサは、JAXAのみならず世界の宇宙機開発におけるコンタミネーション対策に大きく貢献することが期待される。すでにESA（欧州宇宙機関）やCNES（フランス国立宇宙研究センター）から試用したいとの意向が示されたことを受け、協力を進めているところだ。

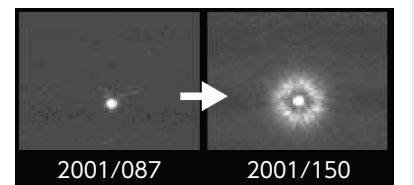
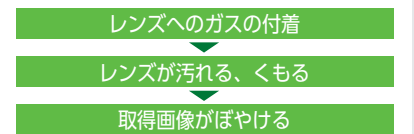
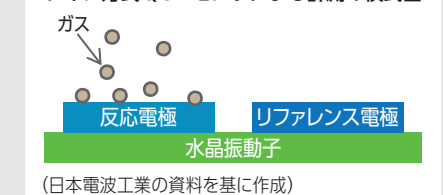
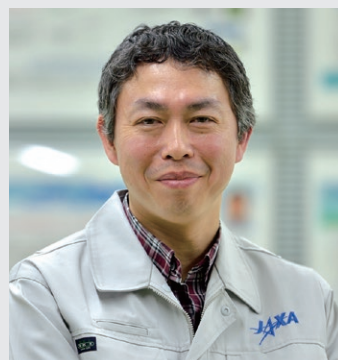
一方NDKでは、2017年4月より、広く国内外の宇宙開発機関や関連産業に向け販売を行うとのことである。

コンタミネーション発生のメカニズム

汚染源（宇宙機材料）
放出
ガス
直接
反射
反射面（宇宙機材料）
付着
被汚染面（レンズ）

実際の宇宙機でのコンタミネーションの例

光学観測画像の品質低下の例
NASA・ESA土星探査機「カッシーニ」の
2001年3月29日と5月30日での比較

レンズへのガスの付着
▼
レンズが汚れる、くもる
▼
取得画像がぼやける

V. R. Haemmerle and J. H. Gerhard, "Cassini Camera Contamination Anomaly Experiences and Lessons Learned," AIAA 2006-5834, 2006

ツイン方式QCMセンサによる計測の模式図

（日本電波工業の資料を基に作成）

研究開発部門
研究推進部 主任
宮崎 英治（みやざき えいじ）

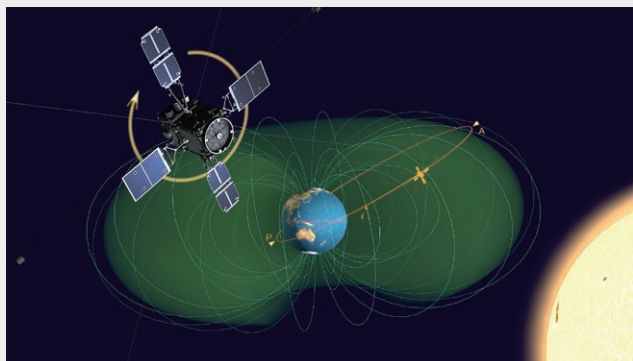
研究開発部門
第一研究ユニット 研究開発員
土屋 佑太（つちや ゆうた）

JAXAトピックス

TOPIC 1 「こうのとり」6号機　ミッション完了

2017年1月27日午前0時45分、ISSから分離

宇宙ステーション補給機「こうのとり」6号機(HTV6)は、2017年2月6日午前0時6分頃、大気圏に再突入しミッションを完了しました。「こうのとり」6号機では、ISSの運用延長に不可欠な日本製リチウムイオン電池を使用した新型バッテリや、従来の2倍の能力を持つ小型衛星放出機構(J-SSOD)および超小型衛星7機などを輸送。7機の衛星は「きぼう」日本実験棟から無事放出され、「こうのとり」は「きぼう」利用の高頻度化にも貢献しました。初号機から6号機まですべてのミッションを連続成功させている「こうのとり」は、今後もISS運用に不可欠な役割を果たしていきます。

TOPIC 2 「あらせ」が初期運用へ

放射線帯(グリーン部分)と「あらせ」の軌道とその姿勢。
右下は太陽(イメージ図)

ジオスペース探査衛星「あらせ」は、2016年12月20日に宇宙に旅立った後、2017年1月下旬までの約1カ月はクリティカル運用期間※、1月下旬からは観測機器の立ち上げ、機能確認などを行う初期運用を実施してきました。そして、2017年3月中には、いよいよ定常運用に移行する予定です。

※クリティカル運用期間: ロケットから衛星が分離した後、衛星の太陽電池パドル等の展開、姿勢制御機能および衛星を追跡管制する地上系設備の機能の確認など、衛星の一連の健全性を確立するまでの期間。「あらせ」では、軌道変更運用(近地点高度上昇)、ワイヤーアンテナの伸展、伸展マストの伸展などの重要なシーケンスも行った。

TOPIC 3 ヤクルト本社とJAXA共同による、ISSでのプロバイオティクス継続摂取実験、いよいよ開始へ

株式会社ヤクルト本社とJAXAは、2014年度から、閉鎖微小重力環境下におけるプロバイオティクスの継続摂取による免疫機能、および腸内環境に及ぼす効果に係る共同研究に取り組んできました。これまでに、ヤクルト本社が独自開発したプロバイオティクス(乳酸菌 ラクトバチルス カゼイ シロタ株)を含む長期常温保管可能なカプセルのISS搭載影響評価実験を行い、地上の常温保管と同程度の生菌数を維持できることを確認しました。

2017年度からは、いよいよ宇宙実験が開始されます。JAXAは宇宙飛行士の健康やパフォーマンスの維持・向上、さらに、得られた知見に基づく地上でのプロバイオティクス研究の発展および健康増進への貢献を目指しています。

L.カゼイ・シロタ株

実験に使う、カゼイ・シロタ株を含有するカプセル

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部　〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6
御茶ノ水ソラシティ
TEL:03-5289-3650　FAX:03-3258-5051

JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://fanfun.jaxa.jp/media/mail/